

РАЗДЕЛ 5. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК.:626:627.84

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

**Жаныбекова Бермет Жаныбековна (0000-0002-0986-7626),
Кадыров Ишембек Шакирович (0000-0003-2576-5387),
Каныбек уулу Искендер (0009-0003-9957-7634).**

*Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г Бишкек,
Кыргызская Республика*

Аннотация: В статье рассматривается описание лабораторного стенда, который является имитационной моделью оборудования, устанавливаемые в малых и микро-ГЭС. Лабораторный стенд создается при участии магистрантов, соискателей и аспирантов кафедры и является хорошей базой при проведении научно-экспериментальных работ в процессе написания магистерских и кандидатских диссертаций. Лабораторный стенд оснащен современными силовыми устройствами, позволяющие проводить экспериментальные исследования максимально приближенные к реальным. Используемая в стенде современная измерительная и регистрационная аппаратура позволяют получить результаты исследования с требуемой достоверностью и точностью.

Ключевые слова: Гидротурбина, Синхронный генератор, Асинхронный двигатель, Преобразователь частоты, Усилитель напряжения, Измерительные приборы, Алгоритм управления

СИНХРОНДУК ГЕНЕРАТОРДУН АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН БАШКАРУУ СИСТЕМАСЫНЫН ИМИТАЦИЯЛЫК МОДЕЛИН ИШТЕП ЧЫГУУ

**Жаныбекова Бермет Жаныбековна (0000-0002-0986-7626),
Кадыров Ишембек Шакирович (0000-0003-2576-5387),
Каныбек уулу Искендер (0009-0003-9957-7634).**

*К.И. Скрябин атындагы Кыргыз улуттук агрардык университети, Бишкек шаары,
Кыргыз Республикасы*

Аннотация: Макалада чакан жана микро ГЭС терде орнотулган жабдуулардын имитациялык модели болгон лабораториялык стендин сүрөттөлүшү талкууланат. Лабораториялык стенд кафедранын магистранттарынын, абитуриенттеринин жана аспиранттарынын катышуусунда түзүлүп, магистранттык жана кандидаттык диссертацияларды жазуу процессинде илимий-эксперименталдык иштер үчүн жаакы база болуп саналат. Стендде колдонулуучу заманбап өлчөө жана каттоо жабдуулары изилдөөнүн натыйжаларын талап кылынган ишенимдүүлүк жана тактык менен алууга мүмкүндүк берет.

Өзөктүү сөздөр: Гидротурбина, Синхрондук генератор, Асинхрондук кыймылдаткыч, Жыштыкты өзгөртүүчү, Чыңалууну күчөтү, Ченөөчү куралдар, Башкаруу алгоритми

DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF SYNCHRONOUS GENERATOR

**Zhanybekova Bermet Zhanybekovna (0000-0002-0986-7626),
Kadyrov Ishembek Shakirovich (0000-0003-2576-5387),
Kanybek uulu Iskender (0009-0003-9957-7634).**

Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation: *The article discusses the description of the laboratory stand, which is a simulation model of equipment installed in small and micro hydroelectric power plants. The laboratory stand is created with the participation of undergraduates, applicants and graduate students of the department and is a good base for scientific and experimental work in the process of writing master's and candidate's theses. The modern measuring and registration equipment used in the stand allows obtaining the results of the study with the required reliability and accuracy.*

Keyword: *Hydro turbine, Synchronous generator, Induction motor, Frequency converter, Voltage amplifier, Measuring instruments, Control algorithm*

1. Введение

В настоящее время становится очевидным, что в вопросах изменения баланса электроэнергетических потенциалов мир находится на переломном рубеже. В первую очередь это касается необходимостью поиска альтернативных источников энергии для изменения баланса использования традиционной энергетической структуры, таких как нефть, уголь, ядерное топливо и вода.

Для Кыргызстана актуальность изменения заключается в том, что в нашей республике основным источником энергии является вода, так как доля добычи природного газа и нефти фактически нулевая, кроме этого, широкое использование этих компонентов в качестве топлива по последним данным связано с проблемами экологии. Использование залежей угля обусловлены труднодоступностью их добычи, кроме этого, углеводородное твердотопливное сырье не решает проблемы снижения экологической безопасности. И последнее, электроэнергетика на основе ядерного топлива требует значительных первоначальных капитальных вложений.

Выход из создавшейся проблемы видится в использовании альтернативной энергетики для создания электрической и тепловой энергии, достаточной для удовлетворения нужд населения в повседневной жизни. К альтернативной энергетике, которое отличается от основных

средств энергетики сегодняшнего дня, работающих на углеводородном сырье, относятся иные источники энергии такие как сила ветра, энергия солнца, малых и микро-ГЭС (Материалы сайта).

Приоритетность использования этих возобновляемых источников энергии, особенно энергии малых горных рек и солнечной энергии в нашей республике определяется необходимостью отхода от нужд закупки дорогостоящего топлива и доставки в труднодоступные районы. В этих районах можно использовать небольшие станции для обеспечения электроэнергией. Для нашей страны с большими горными массивами, в которых имеются малонаселенные районы эта мера актуальна, так как прокладка электросетей экономически нецелесообразна.

2. Материалы и методы исследования

Целью данной статьи является рассмотрение вопросов применения комплекса гидротехнических сооружений в составе микро-ГЭС и создание на этой базе имитационной модели для исследования вопросов автоматизации в процессе производства электроэнергии в лабораторных условиях.

К комплексу гидротехнических сооружений микро-ГЭС относиться гидромеханическое и электротехническое оборудование (Липкин В. И. 2012. – 50

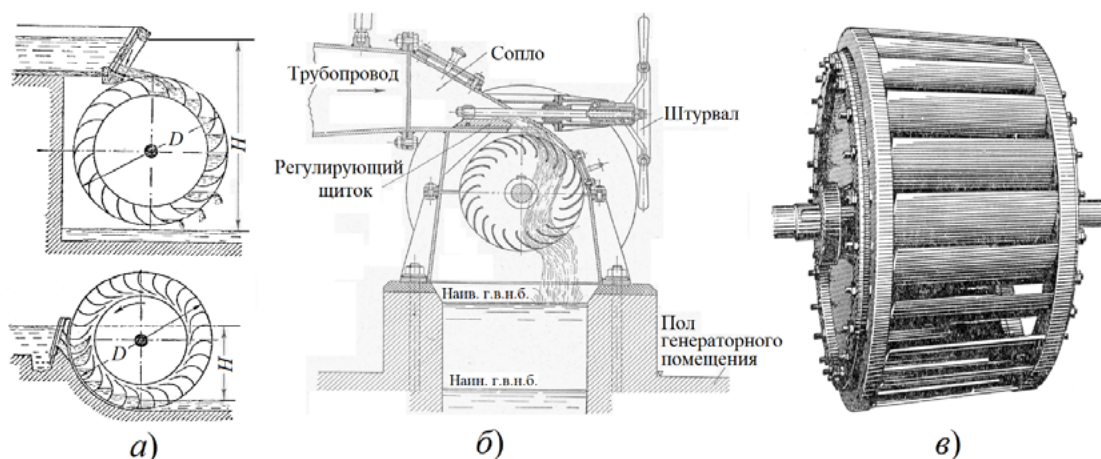


Рис. 1. Гидравлический двигатель с верхненаливными колесами.
«Составлен по [1]».

с.). Для имитации этих оборудований используется спарка электрических машин переменного тока: асинхронного двигателя и синхронного генератора, которые жестко соединены валами с помощью муфты. Очевидным является то, что асинхронный двигатель имитирует гидромеханическое оборудование, а синхронный генератор вместе с устройством возбуждения и системой управления - электротехническое оборудование микро-ГЭС.

Наиболее трудной задачей, при решении вопросов создания имитационной модели микро-ГЭС, является приведение статических и динамических свойств асинхронному двигателю свойства гидромеханического преобразователя.

В качестве примера рассмотрим устройство гидравлического двигателя представленного на рис. 1. Выбор гидротурбины на основе водяных колес (рис. 1, а, в) позволяет наиболее просто получить математические выражения, описывающие механические характеристики гидромеханического преобразователя.

Гидротурбина на рис. 1 б относится к классу двукратной, поперечноструйной, в которой водяной поток обтекая с веру вниз воздействует сначала на верхние лопатки, потом на нижние. За счет этого эффективность работы немного повышается, а если еще предусмотреть

напорный трубопровод, тогда можно регулировать и частоту вращения колеса (Липкин В. И. 2012. – 50 с.)

Из рис. 1 б видно, что вода подается на рабочие колеса через сопло. Кроме этого, предусмотрен штурвал, соединенный со встроенной щитовой задвижкой. Эти устройства повышают давление водяного потока на рабочие колеса, позволяют увеличивать вращающий момент на валу гидроагрегата и создают условия для поддержания частоты вращения синхронному генератору.

Таким образом, этот пример наглядно показывает на то, что мощность гидромеханического оборудования можно регулировать, изменяя три параметра такие как напор H , м, подача Q м³/час и частота вращения ω рад/с. Очевидно, что по признакам регулирования выше указанных параметров гидротурбину микро-ГЭС можно идентифицировать с такими техническими средствами как центробежные насосы, имеющие механическую характеристику, называемую «вентиляторной». Следовательно, в разрабатываемой имитационной модели гидротурбины требуется формирование «вентиляторной» характеристики, которую приближенно можно описать аналитическим выражением вида (Ключев В.И., Терехов В.М. 1980. – 360 с.).

$$\dot{I}_{\text{нб}} = \dot{I}_{\text{нб,мад}} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{нб,мад}}} \right)^k \quad (1)$$

где k – показатель параболы.

Для форматирования механической характеристики по выражению (1) необходимо запитать статорные обмотки асинхронного двигателя (АД) с выхода преобразователя частоты (ПЧ) со свойствами источника тока так, чтобы в замкнутой системе управления «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) установившийся режим работы характеризовался бы точкой, где момент, развиваемый АД соответствовала бы описанию (1).

3. Результаты исследования

Структурная схема частотного регулирования скорости, построенная по уравнениям электромагнитного и электромеханического преобразования энергии асинхронным двигателем со

свойствами источника момента, показанная на рис. 2 позволяет имитировать свойства гидротурбины, если нелинейному блоку НБ вводить экспериментально снятые и аппроксимированные нелинейности (1), характеризующие механические свойства гидротурбины. В этой схеме асинхронный двигатель питается от преобразователя частоты, обладающего свойством источника тока (Кадыров И.Ш. 2014. – 215 с.).

Для формирования вектора тока статора в схеме управления преобразователем частоты в прямой канал управления введен микропроцессорный генератор синусоидальных сигналов, позволяющий формировать ток в функции трех переменных: частоты, амплитуды, фазы:

$$\dot{I}_1 = I_{1\text{max}} e^{j(\omega_0 t + \varphi_1)} \quad (2)$$

Причем, как и во всяком векторном управлении, регулированию подлежит не только амплитуда $I_{1\text{max}}$, но и фаза φ_1 вектора тока статора согласно следующим

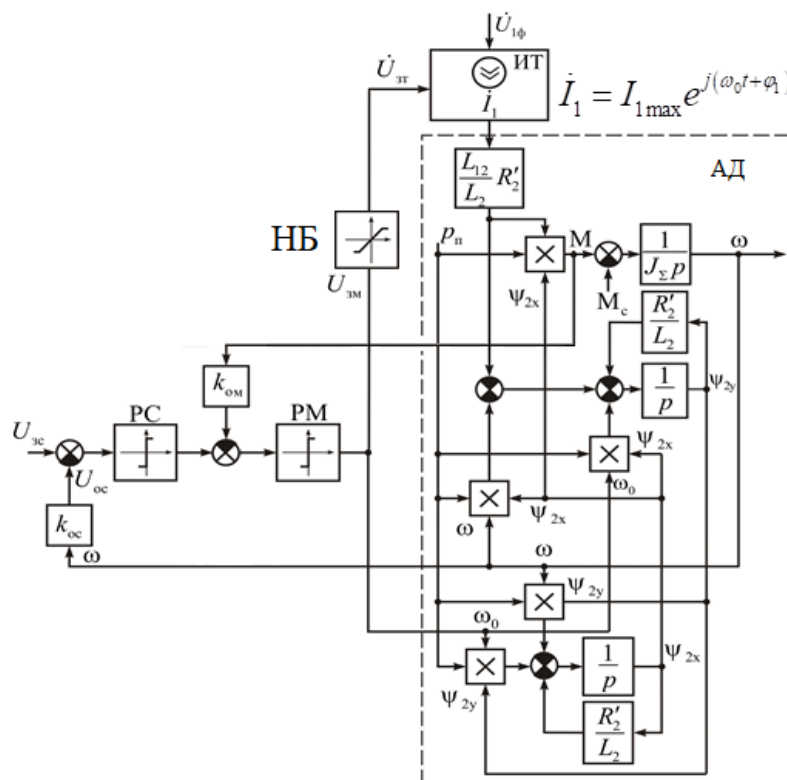


Рис. 2. Структурная схема по системе НПЧ-АД, предназначенная для имитации свойств гидротурбин. «Составлен авторами».

соотношениям:

$$I_{1\max} = \frac{\psi_{2\max}}{L_{12}} \sqrt{1 + \frac{L_2^2}{R_2'^2} \omega_0^2 s_a^2} \quad (3)$$

$$\varphi_a = \arctg L_2 \omega_0 s / R' \quad (4)$$

где $s_a = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – абсолютное скольжение, равное отношению отклонения скорости двигателя ω от скорости идеального холостого хода ω_0 при любой частоте f_1 к скорости поля при частоте f_1 ном.

Реализация уравнений (2-3) системой управления частотно регулируемого электропривода обеспечивают требуемый закон управления при поддержании постоянства потокосцепления ротора в асинхронном двигателе, то есть $\psi_2 = \psi_{2\text{ном}} = \text{const}$.

В настоящее время на кафедре «Электрификации и автоматизации

сельского хозяйства» Кыргызского национального аграрного университета им К.И. Скрябина создана лаборатория «Автоматических систем по преобразованию возобновляемых источников энергии и управления сельскохозяйственными машинами», в которой силами студентов и магистрантов производится монтаж лабораторного стенда имитационной модели для управления синхронным генератором, предназначенный для исследования режимов работы источника электрической энергии в автоматизированной системе.

4. Дискуссия

На рис. 3 показан лабораторный стенд, который является физической моделью, с помощью которого можно имитировать основные режимы работ реальных объектов на гидростанциях. Так, например, синхронный генератор 1, имеет мощность $P_n = 3,0$ кВт имитирует работу

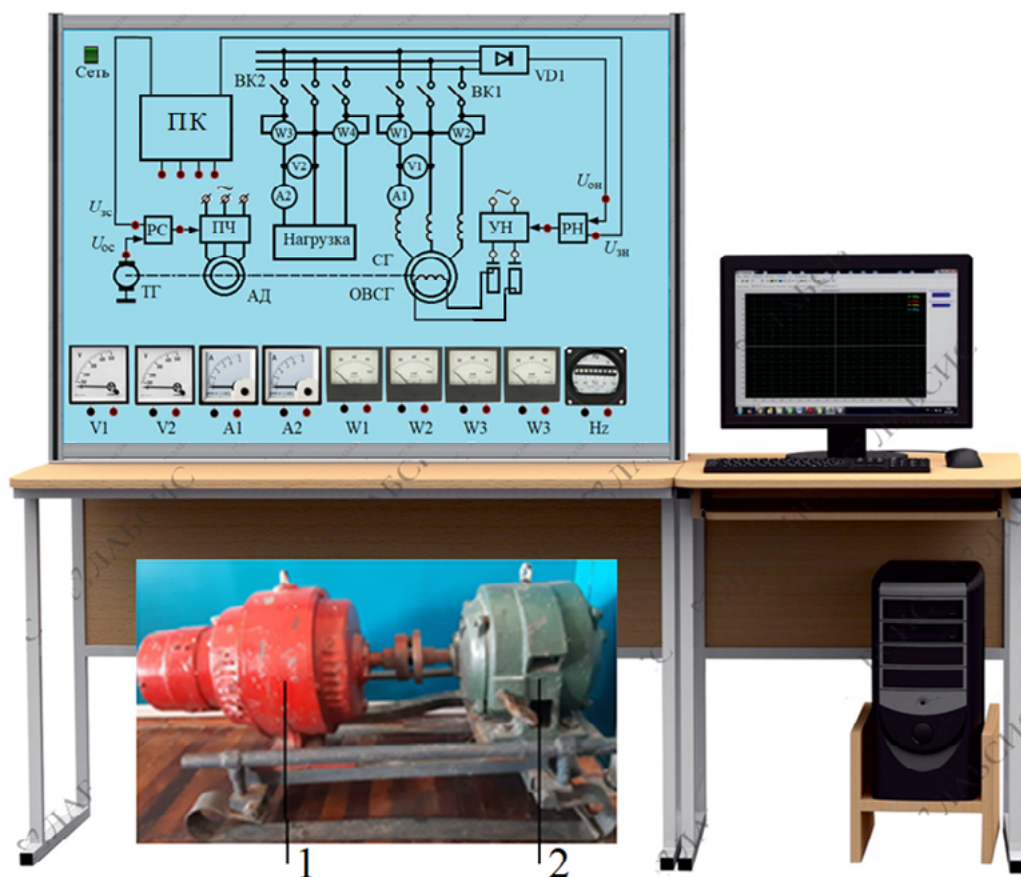


Рис. 3. Общий вид лабораторного стенда «Составлен авторами».

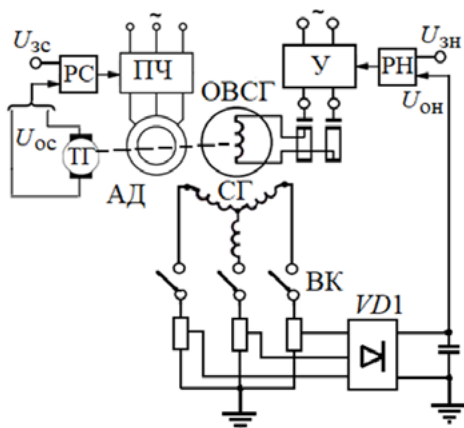


Рис. 4. Функциональная схема автоматизированной системы регулирования частоты и активной мощности синхронного генератора.
«Составлен авторами».

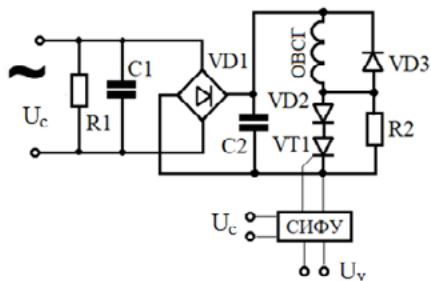


Рис. 5. Принципиальная схема усилителя напряжения.
«Составлен авторами».

синхронных генераторов, мощность которых может исчисляться сотнями, тысячами кВт. Асинхронный двигатель, обозначенный цифрой 2, мощностью $P_n = 4,5$ кВт, имитирует работу гидротурбины, т.е. реагирует на снижение скорости вращения вала синхронного генератора в результате возрастания нагрузки в электрической сети или снижения и возрастания скорости относительно номинальной в режимах, когда происходят колебания в нагрузке синхронного генератора в аварийных режимах или в моменты, когда генератор втягивается в синхронизм.

В разрабатываемом лабораторном стенде на рис. 3 закладывается задача автоматизации системы управления малой и микро-ГЭС при производстве электрической энергии синхронным генератором. При этом персональному

компьютеру ПК вводиться программа, на основе которой отслеживается два выходных параметра синхронного генератора: амплитуда и частота выходного напряжения. Для непрерывного контроля за

этим двумя параметрами, составляющие основу автоматизации производства электрической энергии в лабораторном стенде предусмотрена элементная база:

- автоматизированной системы управления стабилизации частоты и активной мощности;
- система датчиков, которые обеспечивают непрерывное измерение регулируемых параметров синхронного генератора.

На мнемосхеме лабораторного стенда (рис. 3) указан преобразователь частоты ПЧ, назначение которого в регулировании частоты питающего напряжения статорных обмоток асинхронного двигателя АД, с целью регулирования скорости двигателя, если она изменилась в результате колебания нагрузки в синхронном генераторе. Работа преобразователя частоты равносильна открыванию или закрыванию направляющих аппаратов (шлюзов) в плотине гидростанции.

Измерительные приборы, указанные в нижнем секторе, относятся к измерительной системе по контролю за работой генератора в автоматическом режиме работы. По показаниям ваттметров $W1 - W4$, амперметров $A1, A2$ и вольтметров $V1, V2$ в ходе проведения экспериментальных исследований можно отслеживать перераспределение электрической энергии, вырабатываемой синхронным генератором и потребляемой нагрузкой. Причем характер нагрузки может быть как активной, так и реактивной – индуктивной или емкостной. Для этого в качестве нагрузки предполагается использование секций активных сопротивлений, а также включение и отключение в работу маломощных асинхронных двигателей и конденсаторных батарей. Причем, секции

нагрузок можно вводить симметрично в 3 фазы одновременно или отдельно по фазам имитируя режим перекося нагрузки в фазах синхронного генератора.

Остальное силовое оборудование, а также измерительные приборы, коммутационные аппаратуры необходимо приобретать, используя услуги фирм, имеющих каналы поставки оборудования специального назначения, т.е. необходимых для лабораторного стенда. В перечень силового оборудования входит преобразователь частоты, тиристорный преобразователь, силовые трансформаторы.

В системе возбуждения синхронным генератором указан усилитель напряжения УН, который в автоматизированной системе управления отслеживает амплитуду выходного напряжения синхронного генератора. Это важное оборудование в системе автоматизации производства электрической энергии будет разрабатываться в лаборатории силами привлеченных студентов, магистрантов и аспирантов под руководством научного руководителя.

Как было сказано выше основой автоматизации выработки электрической энергии является система, в которой можно было бы регулировать амплитудное значение напряжения генератора по его же среднеквадратичному значений напряжения всех трех фаз синхронного генератора, как показано на рис. 4.

Усилитель напряжения УН в структуре АСУ синхронного генератора предусмотрен для того, чтобы эффективно регулировать напряжение по цепи обмотки возбуждения синхронного генератора. По роду тока усилитель напряжения должен быть усилителем постоянного тока с коэффициентом усиления достаточной, чтобы безынерционно регулировать любые отклонения в амплитуде выходного напряжения синхронного генератора. На рис. 5 приведена принципиальная схема усилителя, реализованная с помощью одного тиристора VT1.

В схеме на рис. 5 напряжение сети выпрямляется с помощью диодного моста VD1 отфильтровывается с помощью конденсатора C2 и прикладывается к обмотке возбуждения синхронного генератора. Для фазового управления тиристором VT1 предусмотрена система импульсно-фазового управления (СИФУ). В СИФУ заложен вертикальный принцип управления, заключающаяся в том, что для регулирования выходного напряжения УН импульсы, подаваемые на управляющий электрод тиристора, должны поступать с углом запаздывания α .

Вопросы автоматизации производства электрической энергии малой или микро-ГЭС будет решаться программным способом, в котором алгоритм регулирования частоты и активной мощности на выходе синхронного генератора будет формироваться персональным компьютером на основе данных, являющихся входными переменными.

5. Выводы

Предлагаемый в этой статье лабораторный стенд, сконструированный с участием магистрантов, соискателей и аспирантов кафедры, является хорошей базой при проведении научно-экспериментальных работ в процессе написания магистерских и кандидатских диссертаций. Оснащенность лабораторного стенда современными силовыми устройствами позволяют проводить экспериментальные исследования максимально приближенные к реальным, а современная измерительная и регистрационная аппаратура позволяют получить результаты исследования с требуемой достоверностью и точностью.

Лабораторный стенд полезен и для студентов, которые обучаются по направлению «Электроэнергетика и электротехника», так как в процессе проведения лабораторных работ студенты наглядно изучают как физические процессы, происходящие в синхронном

генераторе как источника электрической энергии, так и влияние характера нагрузки на коэффициент мощности источника энергии.

6. И с п о л ь з о в а н н а я литература

1. Липкин В. И. Введение в малые и микро-ГЭС. – Бишкек: «Алтын Тамга», 2012. – 50 с.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
3. Кадыров И.Ш. Управление техническими системами / Учебное пособие для вузов / – Бишкек: ИЦ «Текник», 2014. – 215 с.
4. Материалы сайта (URL:www.oremi.kg)